昆虫学报 *Acta Entomologica Sinica*, October 2007, 50(10): 1034 - 1041 ISSN 0454-6296

# 褐飞虱侵害后不同水稻品种根及地上部氮、磷、钾含量的变化

**刘井兰,于建飞,吴进才*,吴东浩,王丽萍**

(扬州大学园艺与植物保护学院,江苏扬州 225009)

**摘要**:利用浓硫酸-过氧化氢消煮法,研究了不同耐、感虫品种水稻分蘖期在褐飞虱侵害胁迫后根及地上部间营养成分含量的变化情况。结果表明:褐飞虱侵害协优963后3天,根及地上部N、P、K含量、6天根及地上部N含量、9天地上部N含量在60、120头/株侵害后变化不明显;6天根及地上部P含量、6天根K含量、9天地上部P含量、9天根及地上部K含量在120头/株侵害后显著下降,60头/株侵害后变化不明显;6天地上部K含量、9天根N含量在60、120头/株侵害后均显著下降。对于协优63,3天地上部N含量、3天根及地上部P含量、6天及9天地上部N、P含量在60、120头/株侵害后变化不明显;6天根N、P含量、根及地上部K含量、9天根N含量在120头/株侵害后显著下降,60头/株侵害后下降不明显;3天、9天根及地上部K含量、9天根部P含量在60、120头/株侵害后均显著下降。表明不同水稻品种体内不同营养物质含量在褐飞虱侵害后变化不同,协优63较协优963敏感;K含量变化最明显,其次为P,最后为N;而且根比地上部对褐飞虱的反应敏感。

**关键词**:褐飞虱;水稻品种;根;地上部;营养成分

**中图分类号**:Q965.8 **文献标识码**:A **文章编号**:0454-6296(2007)10-1034-08

# Changes in levels of nitrogen, phosphorus and potassium in roots and shoots of different rice varieties under infestation by *Nilaparvata lugens* (Stål) (Homoptera: Delphacidae)

LIU Jing-Lan, YU Jian-Fei, WU Jin-Cai*, WU Dong-Hao, WANG Li-Ping (School of Horticulture and of Plant Protection, Yangzhou University, Yangzhou, Jiangsu 225009, China)

**Abstract**: Changes of nutrient components in roots and shoots of rice for tolerant and susceptible varieties to *Nilaparvata lugens* (Stål) infestation were detected by using $H_2SO_4$-$H_2O_2$ method at the tillering stage. For Xie you 963, N, P and K contents in roots and shoots at 3 d after 60 and 120 nymphs/plant infestation and N contents in roots and shoots at 6 d at the tillering stage did not show significant reduction. P contents in roots and shoots at 6 d, K contents in roots at 6 d, P contents in shoots at 9 d and K contents in roots and shoots at 9 d after 120 nymphs/plant infestation decreased significantly but 60 nymphs/plant infestation did not result in significant reduction of P and K contents; K contents in shoots at 6 d and N contents in roots at 9 d after 60 and 120 nymphs/plant infestation showed significant reduction. For Xie you 63, N contents in shoots at 3 d, P contents in roots and shoots at 3 d, N and P contents at 6 d and 9 d after 60 and 120 nymphs/plant infestation did not show significant reduction. N and P contents in roots at 6 d, K contents in roots and shoots at 6 d and N contents in roots at 9 d after 120 nymphs/plant infestation decreased significantly, but 60 nymphs/plant infestation did not result in significant reduction. K contents in roots and shoots at 3 d and 9 d and P contents in roots at 9 d after 60 and 120 nymphs/plant infestation showed significant reduction. The results showed that nutrient components in rice plants under *N. lugens* infestation varied with rice variety. Xie you 63 was more sensitive than Xie you 963. Reduction of K content was the highest, the next was P and the last was N. Roots

---

基金项目:国家自然科学基金项目(32670323)

作者简介:刘井兰,女,1974年生,博士,讲师,主要从事害虫综合治理及农药环境毒理研究,E-mail: drjinglan@163.com

* 通讯作者 Author for correspondence, Tel.: 0514-7979246; E-mail: jc.wu@public.yz.js.cn

收稿日期 Received: 2007-03-05; 接受日期 Accepted: 2007-08-20

were more sensitive to *N. lugens* infestation compared with shoots.

**Key words**: *Nilapavata lugens*; rice varieties; roots; shoots; nutrient components

氮、磷、钾是植物必需的大量营养元素，对植物生长发育起重要的基础保证作用。氮是植物蛋白质和核酸的组成元素，也是植物体内多种酶的主要成分；磷是细胞核、磷脂和核酸的组成成分及植物体内各项代谢过程的参与者；钾是光合作用中多种酶的活化剂，能提高酶的活性，因而能促进光合作用，钾还能提高植物对氮素的吸收和利用，促进碳水化合物的代谢，加速同化产物向储藏器官运输；增强植物的抗逆性（印莉萍等，2006）。

水稻植株的根、地上部既是植株最基本的组成，又是其生命活动的重要场所。作物要生存繁衍，具有吸收水分、养分功能的根系和具有光合功能的叶，至少要向对方提供最低限度的物质；当它们的功能降低或环境条件不利（水分胁迫，养分亏缺）时，又为自身获得生存物质而竞争（罗远培和李韵珠，1996；冯广龙和罗远培，1999）。根、地上部生长过程中这种依赖和竞争的关系是动态变化的，当环境条件对作物生长有利时，主要表现为依赖关系；反之，则表现为竞争关系（Magnani *et al.*, 2000）。

褐飞虱 *Nilaparvata lugens*（Stål）是我国水稻生产上重要的害虫之一，近两年在江苏地区大发生，以直接刺吸稻株的韧皮部汁液为害水稻（Sogawa，1980），严重影响了水稻的产量（马来宝等，2005；穆兰芳等，2006；夏华兴和姜方新，2006）。褐飞虱取食水稻后，降低了叶片叶绿素、蛋白质的含量（沈国清等，1993；Watanabe and Kitagawa, 2000），影响主茎的正常生长和发展，叶片 N 含量降低，引起主茎 N 含量下降，导致叶片光合速率下降，光合速率的下降可能会限制同化产物传导至其他的分蘖组织（Mitsui and Ishii, 1938；Makino *et al.*, 1985；Rubia-Sanchez *et al.*, 1999），可能是褐飞虱引起损失的主要机制。Rubia-Sanchez 等（2003）检测到在白背飞虱、褐飞虱取食危害后两水稻品种根系生物量和含 N 量显著降低，TN1 根系含 N 量下降较 Nipponbare 明显。Kenmore（1980）报道褐飞虱取食后影响光合产物从叶向根的传导，即传导受阻。另外最近有少量研究认为褐飞虱取食后会影响根系对养分的吸收及显著降低根系玉米素核苷含量（Wu *et al.*, 2003；Qiu *et al.*, 2004a, 2004b；刘井兰等，2006）。

目前未见有关褐飞虱侵害水稻后，根、地上部 N、P、K 含量变化的报道。本文通过测定两种水稻品种在褐飞虱侵害后，根、地上部 N、P、K 含量，更好地阐明褐飞虱侵害后 N、P、K 在水稻植株根及地上部间的分配。

## 1　材料和方法

### 1.1　材料

**1.1.1　供试水稻**：以协优 963（籼稻，中抗）、协 63（籼稻，中感）作为供试品种。挑选饱满种子，清水浸种 12 h 后用次氯酸钠消毒 20 min，再用清水冲洗干净，放于 35℃阴处催芽，露出胚根后播于筛子筛过的细土中，待 4 叶期时清水洗去根部泥土，将其插入预备好的泡沫板孔中，每孔移栽 6 株幼苗，再将泡沫板放入充满 Espino 培养液（Mae and Ohira，1981）（配方：1.4 mmol/L $NH_4NO_3$，0.4 mmol/L $NaH_2PO_4$，0.5 mmol/L $K_2SO_4$，1.5 mmol/L $MgSO_4$，1 mmol/L $CaCl_2$，1.6 mmol/L $MnCl_2$，0.2 mmol/L $(NH_4)_6MO_7O_{24}$，3 mmol/L $H_3BO_3$，6 mmol/L $FeCl_3$，0.03 mmol/L $ZnSO_4$，0.03 mmol/L $CuSO_4$）的小桶（高 13.7 cm，直径为 10.4 cm）中进行水培，每天用酸或碱调试使 pH 保持在 5.0 左右，5 天更换一次营养液，两周后将每穴水稻分单株培养至分蘖盛期，每株水稻取一主茎两分蘖作为实验材料。

**1.1.2　供试虫源**：实验中所用褐飞虱来自于中国水稻研究所（杭州），接虫实验前，褐飞虱在养虫圃中繁殖 2 代后使用。

### 1.2　实验设计

**1.2.1　接虫安排**：每株分别接上 2 个褐飞虱密度（5 龄若虫）：60 头、120 头。接虫后 24 h，检查一次每个处理飞虱数量，如有死亡，补足至所设计的密度。对照不接虫。

**1.2.2　采样**：接虫后 3、6、9 天分别取样一次，根及地上部分别取下，置于 110℃烘箱中杀青 30 min，在 85℃烘 24 h 至恒重，然后分别将地上部与根磨碎，过 100 目筛。随机取 0.1 g 干样测定。植株根、地上部全量 N、P、K 采用浓 $H_2SO_4$-$H_2O_2$ 法消化，全 N 用碱解扩散法，全 P 用钒钼黄比色法测定，全 K 用火焰光度法测定（鲍士旦，2000）。整个实验过程中水培水稻在自然气候条件下生长，实验采用随机区组设计，4 次重复，每个处理只采样一次。

### 1.3 数据分析

数据均采用 DPS 软件分析系统(唐启义和冯明光,2002)。采用三因素方差分析法分析水稻品种、器官、褐飞虱密度对水稻体内 N、P、K 含量的影响。

## 2 结果与分析

### 2.1 褐飞虱侵害对不同水稻品种根、地上部 N 含量的影响

褐飞虱侵害后 3 天,水稻不同品种(协优 963 和协优 63)和不同器官(根与地上部)时含 N 量有显著差异(对品种 $F = 154.924$, $df = 1, 36$, $P = 0.00001$;对器官 $F = 372.288$, $df = 1, 36$, $P = 0.00001$),但不同褐飞虱密度对水稻体内含 N 量无显著影响($F = 2.231$, $df = 2, 36$, $P = 0.122$)。品种与器官间、器官与褐飞虱密度间均有显著交互作用(品种与器官间 $F = 39.930$, $df = 1, 36$, $P = 0.00001$;器官与密度 $F = 14.015$, $df = 2, 36$, $P = 0.00003$),但水稻品种与密度间以及品种、器官和密度间均无显著交互作用($F = 0.08723$, $df = 2, 36$, $P = 0.917$;$F = 1.325$, $df = 2, 36$, $P = 0.278$)(表 1)。

表 1 褐飞虱侵害后不同水稻品种根、地上部 N 含量的变化

Table 1 Changes in N contents in roots and shoots of different rice varieties under *Nilaparvata lugens* infestation

| 品种 Rice variety | 器官 Rice organ | 飞虱密度(头/株) Planthopper density (nymphs/plant) | 含 N 量 N contents (%) 侵害时间 Infestation duration (d) 3 | 6 | 9 |
|---|---|---|---|---|---|
| 协优 63 Xie you 63 | 根 Roots | 60 | 1.095 ± 0.069 b | 1.261 ± 0.193 a | 0.810 ± 0.096 a |
| | | 120 | 1.104 ± 0.126 b | 0.927 ± 0.130 b | 0.566 ± 0.062 b |
| | | 对照 Control | 1.380 ± 0.072 a | 1.316 ± 0.110 a | 0.717 ± 0.022 a |
| | 地上部 Shoots | 60 | 2.155 ± 0.453 a | 1.887 ± 0.371 a | 1.936 ± 0.226 a |
| | | 120 | 2.184 ± 0.161 a | 2.211 ± 0.600 a | 1.506 ± 0.171 a |
| | | 对照 Control | 2.587 ± 0.148 a | 2.124 ± 0.484 a | 1.663 ± 0.485 a |
| 协优 963 Xie you 963 | 根 Roots | 60 | 1.395 ± 0.220 a | 1.593 ± 0.145 a | 1.222 ± 0.252 b |
| | | 120 | 1.600 ± 0.076 a | 1.363 ± 0.014 b | 1.152 ± 0.101 b |
| | | 对照 Control | 1.640 ± 0.181 a | 1.515 ± 0.131 ab | 1.556 ± 0.0731 a |
| | 地上部 Shoots | 60 | 3.247 ± 0.284 a | 3.078 ± 0.260 a | 3.092 ± 0.217 a |
| | | 120 | 3.291 ± 0.150 a | 3.185 ± 0.318 a | 2.907 ± 0.065 a |
| | | 对照 Control | 2.927 ± 0.252 a | 3.070 ± 0.196 a | 2.931 ± 0.122 a |

表中数据是平均值 ± 标准差,同栏相同品种相同器官数据后不同小写字母表示与相应对照比差异显著($P < 0.05$,Duncan 新复极差法)。下同。
Data are means ± *SD*, and those of the same organ of the same rice variety within the same column followed by different letters show significant difference ($P < 0.05$, Duncan test). The same below.

褐飞虱侵害后 6 天,水稻不同品种和不同器官时含 N 量均有显著差异(品种 $F = 63.665$, $df = 1, 36$, $P = 0.00001$;器官 $F = 220.008$, $df = 1, 36$, $P = 0.00001$),但不同褐飞虱密度对含 N 量无显著影响($F = 0.335$, $df = 2, 36$, $P = 0.718$)。品种与器官之间有显著交互作用($F = 17.627$, $df = 1, 36$, $P = 0.00017$),但品种与密度间、器官与密度间以及品种、器官和褐飞虱密度间均无显著交互作用(品种与密度 $F = 0.4315$, $df = 2, 36$, $P = 0.653$;器官与密度 $F = 3.081$, $df = 2, 36$, $P = 0.05821$;品种、器官和密度 $F = 0.3048$, $df = 2, 36$, $P = 0.73914$)(表 1)。

褐飞虱侵害后 9 天,水稻不同品种、不同器官和不同褐飞虱密度时含 N 量有显著差异(品种 $F = 270.065$, $df = 1, 36$, $P = 0.00001$;器官 $F = 540.659$, $df = 1, 36$, $P = 0.00001$;密度 $F = 6.077$, $df = 2, 36$, $P = 0.00532$)。品种与器官间有显著交互作用($F = 33.375$, $df = 1, 36$, $P = 0.00001$),但品种与密度间、器官与密度间以及品种、器官和密度间均无显著交互作用(品种与密度 $F = 2.018$, $df = 2, 36$, $P = 0.14774$;器官与密度 $F = 2.886$, $df = 2, 36$, $P = 0.06879$;品种、器官和密度 $F = 1.069$, $df = 2, 36$, $P = 0.35402$)(表 1)。

### 2.2 褐飞虱侵害对不同水稻品种根、地上部 P 含量的影响

褐飞虱侵害后 3 天,水稻不同品种和不同器官时含 P 量有显著差异(品种 $F = 60.722$, $df = 1, 36$, $P = 0.0001$;器官 $F = 87.227$, $df = 1, 36$, $P = 0.0001$),但不同褐飞虱密度对水稻体内含 P 量无显著影响($F = 1.409$, $df = 2, 36$, $P = 0.258$)。水稻品种与器官之间、器官与褐飞虱密度之间均有显著交互作用(品种与器官 $F = 5.655$, $df = 1, 36$, $P = 0.023$;器官与密度 $F = 4.299$, $df = 2, 36$, $P = 0.0212$),但水稻品种与褐飞虱密度之间以及水稻品种、器官和褐飞虱密度之间均无显著交互作用(品种与密度 $F = 0.095$, $df$

$= 2, 36, P = 0.910$；品种、器官和密度 $F = 0.9276, df = 2, 36, P = 0.405$）（表 2）。

褐飞虱侵害后 6 天，水稻不同品种和不同器官时含 P 量有显著差异（品种 $F = 26.972, df = 1, 36, P = 0.0001$；器官 $F = 214.124, df = 1, 36, P = 0.0001$），但不同褐飞虱密度对水稻体内含 P 量无显著影响（$F = 0.321, df = 2, 36, P = 0.727$）。水稻器官与褐飞虱密度之间有显著交互作用（$F = 18.242, df = 2, 36, P = 0.0001$），但水稻品种与器官之间、水稻品种与褐飞虱密度之间以及水稻品种、器官和褐飞虱密度之间均无显著交互作用（品种与器官 $F = 3.124, df = 1, 36, P = 0.0857$；品种与密度 $F = 0.01887, df = 2, 36, P = 0.13714$；器官与密度 $F = 1.04816, df = 2, 36, P = 0.36104$）（表 2）。

褐飞虱侵害后 9 天，水稻不同品种、不同器官和不同褐飞虱密度时含 P 量均有显著差异（品种 $F = 33.501, df = 1, 36, P = 0.00001$；器官 $F = 331.763, df = 1, 36, P = 0.00001$；密度 $F = 6.391, df = 2, 36, P = 0.004$）。水稻品种与器官之间、水稻器官与褐飞虱密度之间均有显著交互作用（品种与器官 $F = 8.459, df = 1, 36, P = 0.006$；器官与密度 $F = 5.769, df = 2, 36, P = 0.00671$），但水稻品种与褐飞虱密度之间以及水稻品种、器官和褐飞虱密度之间均无显著交互作用（品种与密度 $F = 0.5099, df = 2, 36, P = 0.60485$；品种、器官和密度 $F = 1.069, df = 2, 36, P = 0.35402$）（表 2）。

表 2　褐飞虱侵害后不同水稻品种根、地上部 P 含量的变化

Table 2　Changes in P contents in roots and shoots of different rice varieties under *Nilaparvata lugens* infestation

| 品种 Rice variety | 器官 Rice organ | 飞虱密度（头/株）Planthopper density (nymphs/plant) | 含 P 量 P contents (%) 侵害时间 Infestation duration (d) 3 | 6 | 9 |
|---|---|---|---|---|---|
| 协优 63 Xie you 63 | 根 Roots | 60 | 0.839 ± 0.093 ab | 0.725 ± 0.101 a | 0.455 ± 0.044 b |
| | | 120 | 0.691 ± 0.125 ac | 0.481 ± 0.057 b | 0.354 ± 0.086 b |
| | | 对照 Control | 0.841 ± 0.035 a | 0.699 ± 0.048 a | 0.581 ± 0.035 a |
| | 地上部 Shoots | 60 | 1.072 ± 0.171 a | 0.861 ± 0.127 a | 0.842 ± 0.114 a |
| | | 120 | 1.106 ± 0.103 a | 1.074 ± 0.154 a | 1.014 ± 0.161 a |
| | | 对照 Control | 0.933 ± 0.255 a | 1.026 ± 0.156 a | 1.073 ± 0.214 a |
| 协优 963 Xie you 963 | 根 Roots | 60 | 0.471 ± 0.092 a | 0.523 ± 0.087 a | 0.305 ± 0.049 a |
| | | 120 | 0.403 ± 0.078 a | 0.343 ± 0.054 b | 0.319 ± 0.017 a |
| | | 对照 Control | 0.464 ± 0.170 a | 0.469 ± 0.053 a | 0.362 ± 0.024 a |
| | 地上部 Shoots | 60 | 0.881 ± 0.058 a | 0.863 ± 0.067 a | 0.946 ± 0.104 a |
| | | 120 | 0.859 ± 0.058 ab | 1.004 ± 0.091 b | 0.813 ± 0.015 b |
| | | 对照 Control | 0.789 ± 0.045 a | 0.814 ± 0.045 a | 0.937 ± 0.019 a |

## 2.3　褐飞虱侵害对不同水稻品种根、地上部 K 含量的影响

褐飞虱侵害后 3 天，水稻不同器官和不同褐飞虱密度时含 K 量有显著差异（器官 $F = 152.576, df = 1, 36, P = 0.0001$；密度 $F = 13.163, df = 2, 36, P = 0.00005$），但水稻不同品种植株体内含 $K$ 量无显著差异（$F = 0.397, df = 1, 36, P = 0.533$）；水稻品种与器官之间、器官与褐飞虱密度之间、水稻品种与褐飞虱密度之间以及水稻品种、器官和褐飞虱密度之间均无显著交互作用（品种与器官 $F = 0.001, df = 1, 36, P = 0.9734$；器官与密度 $F = 1.199, df = 2, 36, P = 0.313$；品种与密度 $F = 1.914, df = 2, 36, P = 0.16$；品种、器官和密度 $F = 1.088, df = 2, 36, P = 0.345$）（表 3）。

褐飞虱侵害后 6 天，水稻不同品种、不同器官和不同褐飞虱密度时含 K 量均有显著差异（品种 $F = 49.414, df = 1, 36, P = 0.00001$；器官 $F = 416.32, df = 1, 36, P = 0.00001$；密度 $F = 33.912, df = 2, 36, P = 0.00001$）。水稻器官与褐飞虱密度之间有显著交互作用（$F = 8.448, df = 2, 36, P = 0.00098$），水稻品种与器官之间、水稻品种与密度之间以及水稻品种、器官和褐飞虱密度之间均无显著交互作用（品种与器官 $F = 0.149, df = 1, 36, P = 0.702$；品种与密度 $F = 2.622, df = 2, 36, P = 0.087$；品种、器官和密度 $F = 1.817, df = 2, 36, P = 0.177$）（表 3）。

褐飞虱侵害后 9 天，水稻不同品种、器官和不同褐飞虱密度时含 K 量均有显著差异（品种 $F = 21.456, df = 1, 36, P = 0.00005$；器官 $F = 519.903, df = 1, 36, P = 0.00001$；密度 $F = 42.326, df = 2, 36, P = 0.00001$）。水稻品种与器官之间、器官与褐飞虱密度之间均有显著交互作用（品种与器官 $F = 6.582, df = 1, 36, P = 0.015$；器官与密度 $F = 4.264,$

*df* = 2,36,*P* = 0.022),但水稻器官与褐飞虱密度之间以及水稻品种、器官和褐飞虱密度之间均无显著交互作用(器官与密度 *F* = 0.483,*df* = 2,36,*P* = 0.621;品种、器官和密度 *F* = 0.419,*df* = 2,36,*P* = 0.661)(表 3)。

**表 3 褐飞虱侵害后不同水稻品种根、地上部 K 含量的变化**

**Table 3 Changes in K contents in roots and shoots of different rice varieties under *Nilaparvata lugens* infestation**

| 品种 Rice variety | 器官 Rice organ | 飞虱密度(头/株) Planthopper density (nymphs/plant) | 含 K 量 K contents (%) 侵害时间 Infestation duration (d) 3 | 6 | 9 |
|---|---|---|---|---|---|
| 协优 63 Xie you 63 | 根 Roots | 60 | 1.479 ± 0.168 b | 1.577 ± 0.246 a | 0.673 ± 0.207 c |
| | | 120 | 1.692 ± 0.403 b | 0.541 ± 0.142 b | 0.335 ± 0.173 b |
| | | 对照 Control | 2.712 ± 0.374 a | 1.557 ± 0.302 a | 1.290 ± 0.216 a |
| | 地上部 Shoots | 60 | 3.267 ± 0.186 b | 2.889 ± 0.177 a | 2.153 ± 0.360 b |
| | | 120 | 3.134 ± 0.082 b | 2.371 ± 0.268 b | 2.173 ± 0.246 b |
| | | 对照 Control | 3.592 ± 0.269 a | 2.729 ± 0.040 a | 2.889 ± 0.481 a |
| 协优 963 Xie you 963 | 根 Roots | 60 | 1.732 ± 0.381 a | 1.997 ± 0.398 a | 1.141 ± 0.072 a |
| | | 120 | 2.034 ± 0.517 a | 1.151 ± 0.231 b | 0.369 ± 0.262 b |
| | | 对照 Control | 2.337 ± 0.787 a | 1.959 ± 0.327 a | 1.327 ± 0.151 a |
| | 地上部 Shoots | 60 | 3.208 ± 0.358 a | 3.019 ± 0.247 b | 3.170 ± 0.344 a |
| | | 120 | 3.321 ± 0.247 a | 3.056 ± 0.227 b | 2.413 ± 0.277 b |
| | | 对照 Control | 3.662 ± 0.312 a | 3.511 ± 0.227 a | 3.435 ± 0.336 a |

### 2.4 120 头褐飞虱/株侵害后水稻根、地上部 N、P、K 含量变化的比较

120 头褐飞虱/株侵害协优 63 和协优 963 后水稻根部含 K 量下降最显著,9 天含 K 量分别下降 74.03%、72.19%;其次为 P,分别下降 39.07%、11.88%;最后为 N,分别下降 21.06%、25.96%(图 1)。120 头/株侵害协优 63、协优 963 后植株地上部含 K 量下降最显著,9 天含 K 量分别下降 24.78%、29.75%;其次为 P,分别下降 5.50%、13.12%;最后为 N,分别下降 9.44%,0.82%(图 2)。

## 3 讨论

### 3.1 水稻 N、P、K 含量与其生长发育的关系

三叶期前秧苗主要是异养生长,氮素大部分来自于胚乳贮存的蛋白质,由于水稻胚乳中蛋白质含量仅占 8%左右,一叶一心后需从土壤中吸收氮素,不过需要量少。三叶期后秧苗进入自养生长阶段,氮素对根系促进作用明显(李亦斌,2006)。磷素营养是水稻生长发育不可缺少的重要元素,它既是构成水稻体许多重要有机化合物的组成成分,同时又以多种方式参与水稻体内的代谢过程,对促进水稻

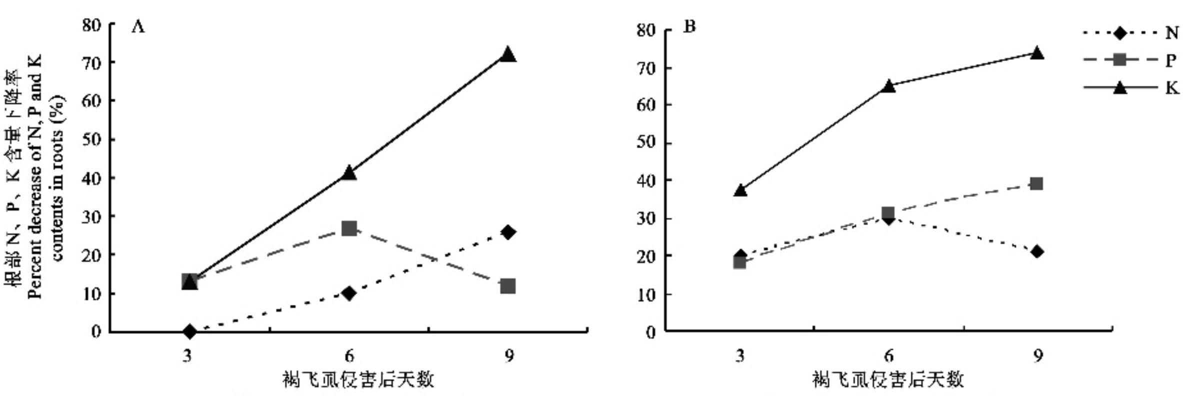



**图 1 120 头褐飞虱/株侵害协优 963(A)和协优 63(B)后根部 N、P、K 含量与对照相比的变化率**

Fig. 1 Percent decrease of N, P and K contents in roots of Xie you 963 (A) and Xie you 63 (B) under *Nilaparvata lugens* infestation of 120 nymphs/plant compared with controls

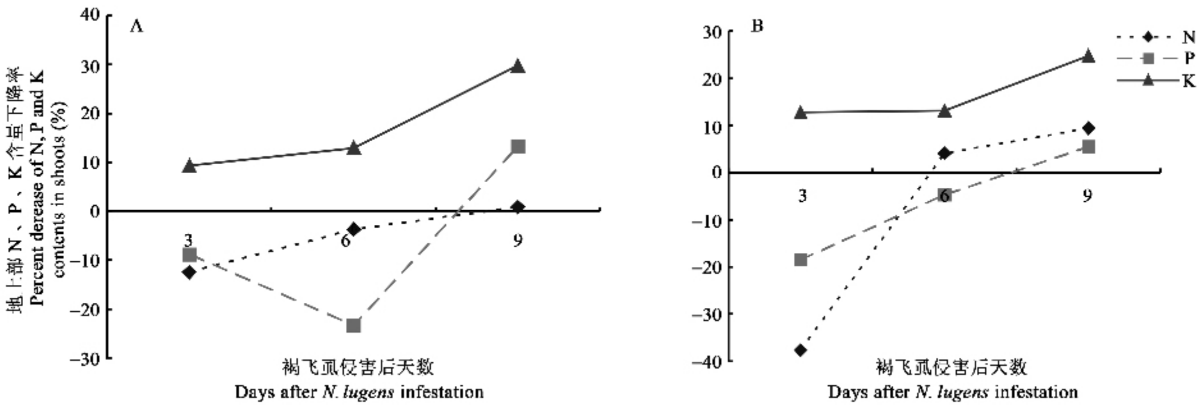



**图 2　120 头褐飞虱/株侵害协优 963（A）和协优 63（B）后地上部 N、P、K 含量与对照相比的变化率**

Fig. 2　Percent decrease of N, P and K contents in shoots of Xie you 963 (A) and Xie you 63 (B) under *Nilaparvata lugens* infestation of 120 nymphs/plant compared with controls

生长发育和生理代谢，促进早熟、高产与优质都起重要作用，如水稻缺磷则生长缓慢，植株矮小，不分蘖或延迟分蘖，叶狭长直立呈‘一枚香’状，叶面积小，叶片稍呈环状卷曲，叶色暗绿，心叶以下第 2～3 叶叶尖枯萎呈黄褐色，新根少而纤细，老根变黄（高如嵩和张嵩午，1994）。水稻插秧 45 天吸磷量最大，45 天后吸磷量逐渐下降（刘传雪等，2005）。水稻分蘖盛期为磷敏感期，需磷量最大。根部性状相关关系表明，根重随磷浓度增加，尤其在低磷条件下，分蘖盛期以前，根重增加主要是通过根数的增加，分蘖盛期至抽穗期根重增加主要是通过单个根长的增长而增大。钾是植物生长的必需营养元素，也是所有机体必要的唯一的一价阳离子，它的某些生理功能是其他一价阳离子无法替代的，是作物生产中影响作物产量及质量的一个重要限制因子，已经日益引起植物生理学、植物营养学等学科的重视代谢，产生有机酸作为氨的受体，有利于氨基酸的形成，促进蛋白质的合成（Evans and Sorger，1966），K 素与植物的抗性变化紧密（王明香等，2000）。

### 3.2　褐飞虱侵害后水稻植株营养元素变化及在根及地上部间的分配

水稻韧皮部存在的物质有 N、K、蔗糖等（Hayashi and Chino，1990），韧皮部将这些物质从源器官（如叶）传导至分蘖部位供植物生长和发育（Akita，1984）。水稻最先感受到生物胁迫的是叶鞘部位，褐飞虱取食叶鞘部位营养元素后，叶鞘部位将胁迫信号传导至根及叶片，整个植物对生物胁迫作出反应，采取相应措施以适应胁迫。根系将在水培液中吸收的营养物质传导至叶鞘部位，所以虽然地上部最先感受到褐飞虱胁迫，但由于干物质的分配，褐飞虱胁迫后对地上部的影响并不比根系明显。王彦荣等（1993）以衰老程度不同的品种为试材，对根系和叶片衰老的生理机制、根系与叶片衰老的关系，根系和叶片衰老对籽粒灌浆结实的影响进行了研究，认为根系与叶片衰老密切相关，从丙二醛（MDA）含量的变化来看，根系衰老早于叶片，根系衰老引发和加剧了叶片衰老。本实验可见地上部 N、K 等营养元素含量在褐飞虱侵害后下降，所以会影响地上部的光合作用，并且会限制光合产物向其他器官的转移，影响根系的生长发育（Mitai，1959；Kenmore，1980；吴岳轩和吴振球，1995），结果会引起根部营养物质含量减少，本实验可见植株根部 N、K 含量减少，所以最终也会影响根系的活性，导致根系吸收各种营养物质的量减少，这样结果形成一种恶性循环，最终导致水稻根系功能逐渐降低。

钾虽不参与构成生物大分子，但对于活化酶及促进蛋白质的形成，稳定蛋白质的构象起重要的作用，作物吸 K 多少与蛋白质含量有关（胡笃敬等，1992）。N 是蛋白质的组成成分，所以植株体内 K 与 N 关系密切。钾还能提高植物体内酚的含量，而酚含量的高低与作物病害密切相关（Sachs and Ho，1986）。从本实验来看，水稻受到褐飞虱侵害后水稻植株体内 K 含量下降最明显，N 含量下降不甚明显，可能与 N 在植物体内含量及稻株前期以营养生长为主地上部积累较多 N 素有关。再从各个吸钾阶段来看，水稻主要吸钾时期在有效分蘖临界叶龄期至抽穗期，占到一生总吸收量的 69.46%～74.52%（王强盛等，2004）。而本实验所用的材料在分蘖期，属于吸 K 较多的时期，所以接虫后植株 K 的反应严重，植株体内 K 含量的显著下降，将会导致植株的

免疫力更加低下,更利于病虫害的发生。

协优 63 为感虫品种,中感褐飞虱,并有抵抗疾病的能力,在 60 头褐飞虱/株侵害后 9 天地上部 K 含量显著下降,根部 K 含量在褐飞虱侵害后 3 天、9 天显著下降;120 头褐飞虱/株侵害后 3、6、9 天根、地上部 K 含量显著下降。协优 963 成株期为中抗品种,还具耐虫性,且持抗期较长,在 60、120 头褐飞虱/株侵害后 3 天地上部 K 含量变化不明显,6 天显著下降,可见,耐虫品种有一定的耐虫期限,它的忍耐力是有一定限制的,在短期内可以忍耐住褐飞虱的侵害,但随时间的延长,忍耐力下降。

在营养生长期,生长和代谢的中心是茎、叶,吸收的 P 主要运输至茎叶中(郭朝晖等,2002)。本实验水稻在褐飞虱侵害后根部 P 含量下降明显,是因为褐飞虱侵害后引起吸收的 P 主要运移至地上部用于水稻的新陈代谢。

褐飞虱胁迫后,水稻体内的各种营养元素在根及地上部间可以分配,这是因为褐飞虱侵害还未造成植株体上下通道传递的阻塞,如果阻塞那植株体各营养元素上下传导将受阻,根及地上部间的调节将会是另一种状况,这也是研究的重点。

## 参 考 文 献 (References)


Akita S, 1984. Production of Carbohydrate. Ecology and Physiology of Crops. Bun-eido, Tokyo. 173 – 120.

Bao SD, 2000. Soil Chemical Analysis. Beijing: China Agriculture Press. 213 – 219. [鲍士旦, 2000. 土壤农化分析. 北京:农业出版社. 213 – 219]

Evans HJ, Sorger GJ, 1966. Role of mineral elements with emphasis on the univalent cations. *Ann. Rev. Plant Physiol.*, 17: 47 – 76.

Feng GL, LuoYP, 1999. Simulation on functional equilibrium of winter wheat root and shoot under different soil water regimes. *Acta Ecologica Sinica*, 19(1): 96 – 103. [冯广龙, 罗远培, 1999. 土壤水分与冬小麦根、地上部功能均衡关系的模拟研究. 生态学报, 19(1): 96 – 103]

Gao RS, Zhang HW, 1994. The Influence of Climate and Ecology on Rice Grain Quality. Xi'an: Shaanxi Science and Technology Press. 3 – 6. [高如嵩, 张嵩午, 1994. 稻米品质气候生态基础研究. 西安:陕西科学技术出版社. 3 – 6]

Guo ZH, Li HS, Zhang YZ, Huang JL, Huang CY, 2002. Effects of phosphorus levels on hybrid rice growth and characteristics of phosphorus transportation. *Chinese Journal of Rice Science*, 16(2): 151 – 156. [郭朝晖, 李合松, 张杨珠, 黄见良, 黄昌勇, 2002. 磷素水平对杂效水稻生长发育和磷素运移的影响. 中国水稻科学, 16(2): 151 – 156]

Hayashi H, Chino M, 1990. Chemical composition of phloem sap from the uppermost internode of the rice plant. *Plant and Cell Physiology*, 31: 247 – 251.

Hu DJ, Dong RR, Ge DZ, 1992. Plant K Nutrition Theory and Practice. Changsha: Hunan Science and Technology Press. 70 – 81. [胡笃敬, 董任瑞, 葛旦之, 1992. 植物钾营养的理论与实践. 长沙:湖南科学技术出版社. 70 – 81]

Kenmore P, 1980. Ecology and Outbreaks of a Tropical Insect Pest of the Green Revolution, the Rice Brown Planthopper *Nilaparvata lugens* (Stål). PhD Thesis, University of California, Berkeley, CA, USA. 226.

Li YB, 2006. Effects of N, P and K on rice roots growth. *Hunan Agricultural Sciences*, (3): 29 – 30. [李亦斌, 2006. 氮、磷、钾对水稻秧苗根系生长的影响. 湖南农业科学, (3): 29 – 30]

Liu CX, Pan GJ, Zhang SH, Liu NS, Zhang LM, Xu T, 2005. Effects of the applied phosphorus on the root characteristics of japonica rice. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 21(9): 178 – 183. [刘传雪, 潘国君, 张淑华, 刘乃生, 张兰民, 徐涛, 2005. 磷营养对粳稻根部性状的影响. 中国农学通报, 21(9): 178 – 183]

Liu JL, Qiu ZH, Wu JC, Wang P, Yu JF, Wang F, 2006. Dynamics of zeatin riboside content in leaves and roots of two rice varieties at two developmental stages under the infestation stress by the brown planthopper, *Nilaparvata lugens* (Stål) (Homoptera: Delphacidae). *Acta Entomologica Sinica*, 49(1): 86 – 92. [刘井兰, 仇正华, 吴进才, 王鹏, 于建飞, 王芳, 2006. 褐飞虱胁迫下两种水稻不同生育期玉米素核苷含量动态. 昆虫学报, 49(1): 86 – 92]

Luo YP, Li YZ, 1996. Root-soil System and Its Effect on Efficiency of Water and Nitrogen Resources by Crops. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press. 115 – 121. [罗远培, 李韵珠, 1996. 根土系统与作物水氮资源利用效率. 北京:中国农业科技出版社. 115 – 121]

Ma LB, Ge YL, Hang FG, Deng ZJ, Wang CH, 2006. Outbreak of brown planthopper, *Nilaparvata lugens*, in Lixiahe region of 2005. *Anhui Agricultural Science Bulletin*, 12(2): 78. [马来宝, 葛玉林, 黄付根, 丁治军, 王存华, 2006. 江苏里下河地区 2005 年褐飞虱大发生的特点及其原因分析. 安徽农学通报, 12(2): 78]

Mae T, Ohira K, 1981. The remobilization of nitrogen related to leaf growth and senescence in rice plants (*Oryza sativa* L.). *Plant Cell Physiology*, 22: 1 067 – 1 074.

Magnani F, Mencuccini M, Grace J, 2000. Age-related decline in stand productivity: the role of structural acclimation under hydraulic constraints. *Plant Cell and Environment*, 23: 251 – 263.

Makino A, Mae T, Ohira K, 1985. Enzymic properties of ribulose-1, 5-bisphosphate carboxylase/oxygenase puried from rice leaves. *Plant Physiology*, 79: 57 – 61.

Mitai H, 1959. Damage of rice plant caused by planthoppers. *Shokubutsu Boeki*, 13: 307 – 310.

Mitsui S, Ishii Y, 1938. Effects of different application amounts of three major nutrients on the photosynthetic efficiency of rice seedlings. *J. Sci. Soil Manure Japan*, 12: 287 – 289.

Mu LF, Liu YC, Zhu FG, Ding HH, Teng JH, Qian BB, Cao WJ, 2006. Outbreak of later brown plant hopper, *Nilaparvata lugens* (Stål), in Wujiang city of 2005 and its control strategies. *Chinese Bulletin of Entomology*, 43(5): 706 – 709. [穆兰芳, 刘于成, 朱福官, 丁海红, 滕金洪, 钱斌彬, 曹卫菊, 2006. 2005 年吴江市褐飞虱后期

特大发生原因及其防治对策. 昆虫知识，43(5)：706－709]

Ohshima T，Hayashi H，Chino M，1990. Collection and chemical composition of pure phloem sap from *Zea mays* L. *Plant and Cell Physiology*，31(5)：735－737.

Qiu HM，Wu JC，Yang GQ，Dong B，Li DH，2004a. Changes in the uptake function of the rice root to nitrogen，phosphorus and potassium under brown planthopper，*Nilaparvata lugens*（Stål）（Homoptera：Delphacidae）and pesticide stresses，and effect of pesticides on rice grain filling in field. *Crop Protection*，23(11)：1 041－1 048.

Qiu ZH，Wu JC，Dong B，Li DH，Gu HN，2004b. Two-way effect of pesticides on zeatin riboside content in both rice leaves and roots. *Crop Protection*，23(11)：1 131－1 136.

Rubia-Sanchez E，Suzuki Y，Arimura K，Miyamoto K，Matsumura M，Watanabe T，2003. Comparing *Nilaparvata lugens*（Stål）and *Sogatella furcifera*（Horvath）（Homoptera：Delphacidae）feeding effects on rice plant growth processes at the vegetative stage. *Crop Protection*，22(7)：967－974.

Rubia-Sanchez E，Suzuki Y，Miyamoto K，Watanabe T，1999. The potential for compensation of the effects of the brown planthopper *Nilaparvata lugens*（Stål）（Homoptera：Delphacidae）feeding on rice. *Crop Protection*，18(1)：39－45.

Sachs MM，Ho THD，1986. Alteration of gene expression during environmental stress in plants. *Ann. Rev. Plant Physiol.*，(37)：363－376.

Shen GQ，Lu ZQ，Du ZW，1993. Effect of brown planthopper and sheath blight infestation on the physiological activities of rice. *J. Jiangsu Agic. College*，14(2)：45－48.［沈国清，陆自强，杜正文，1993. 褐稻虱和纹枯病复合危害对水稻生理活动的影响. 江苏农学院学报，14(2)：45－48]

Sogawa K，1980. Chemical nature and excretory activity of honeydew in the brown planthopper，*Nilaparvata lugens*（Stål）（Homoptera：Delphacidae）. *Proc. Assoc. Plant Prot. Hokuriku*，28：30－35.

Tang QY，Feng MG，2002. DPS Data Processing System for Practical Statistics. Beijing：Science Press. 65－70.［唐启义，冯明光，2002. DPS 实用统计分析. 北京：科学出版社. 65－70]

Wang MX，Nie JH，Zhang HF，2000. The research advance of potassium nutrition. *Journal of Yunnan Agricultural University*，15(4)：356－358.［王明香，聂俊华，张华芳，2000. 钾素营养研究进展. 云南农业大学学报，15(4)：356－358]

Wang QS，Zheng RH，Ding YF，Ji ZJ，Cao WX，Huang PS，2004. Effects of potassium fertilizer application rates on plant potassium accumulation and grain quality of japonica rice. *Scientia Agricultura Sinica*，37(10)：1 444－1 450.［王强盛，甄若宏，丁艳锋，吉志军，曹卫星，黄丕生，2004. 钾肥用量对优质粳稻钾素积累利用及稻米品质的影响. 中国农业科学，37(10)：1 444－1 450]

Wang YR，Hua ZT，Chen WF，Dai GJ，Hao XB，Wang Y，Zhang ZX，Sui GM，2003. Relation between root and leaf senescence and their effects on grain-filling in japonica rice. *Acta Agronomica Sinica*，29(6)：892－898.［王彦荣，华泽田，陈温福，代贵金，郝宪彬，王岩，张忠旭，隋国民，2003. 粳稻根系与叶片早衰的关系及其对籽粒灌浆的影响. 作物学报，29(6)：892－898]

Watanabe T，Kitagawa H，2000. Photosynthesis and translocation of assimilates in rice plants following phloem feeding by the planthopper *Nilaparvata lugens*（Homoptera：Delphacidae）. *J. Economic Entomology*，93(4)：1 192－1 198.

Wu JC，Qiu HM，Yang GQ，Dong B，Gu HN，2003. Nutrient uptake of rice roots in response to infestation of *Nilaparvata lugens*（Stål）（Homoptera：Delphacidae）. *J. Economic Entomology*，96：1 798－1 804.

Wu YX，Wu ZQ，1995. Effects of soil temperature profile on the growth development and metabolic activity of intersubspecific hybrid rice root systems. *Journal of Hunan Agricultural University*，21(3)：218－225.［吴岳轩，吴振球，1995. 土壤温度对亚种间杂交稻根系生长发育和代谢活性的影响. 湖南农学院学报，21(3)：218－225]

Xia HX，Jiang FX，2006. Outbreak of brown plant hopper，*Nilaparvata lugens* of 2005 and its control strategies. *Modern Agricultural Science and Technology*，(5)：43.［夏华兴，姜方新，2006. 2005 年褐飞虱重大发生原因及防治对策. 现代农业科技，(5)：43]

Yin LP，Huang QN，Wu P，2006. Molecular Biology of Plant Nutrition and Signal Transduction. 2nd ed. Beijing：Science Press. 5－21.［印莉萍，黄勤妮，吴平，2006. 植物营养分子生物学及信号转导(第二版). 北京：科学出版社. 5－21]

（责任编辑：袁德成）